皇竹草与喷浆玉米皮组合效应的研究[1]

吴征敏[1] 王志敬[1,2*] 于 辉[3] 吴浩浩[1] 苏智杰[1] 林敏纯[1] 曾 进[1] 尹福泉[1**]

（1.广东海洋大学农学院，湛江 524088；2.衡阳德邦新金生物科技有限公司，衡阳 421001；3.佛山科学技术学院生命科学与工程学院，佛山 528231）

摘 要：本试验旨在通过体外产气法研究皇竹草和喷浆玉米皮以不同比例组合对山羊瘤胃养分降解率的影响，从而为南方粗饲料资源的科学应用提供理论依据和数据支持。试验将皇竹草与喷浆玉米皮按干物质（DM）比例为 100：0、75：25、50：50、25：75、0：100 分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ组，通过体外产气法分别培养 4、8、12、24 和 48 h，每个时间点设 3 个重复和 2 个空白对照，培养结束后终止发酵并测定各时间点发酵液 pH、氨态氮（NH_3-N）浓度以及发酵滤渣的 DM、粗蛋白质（CP）和中性洗涤纤维（NDF）含量。结果表明：1）皇竹草与喷浆玉米皮以不同比例组合显著影响了发酵液的 pH 和 NH_3-N 浓度（P<0.05），但均在正常变化范围内波动；随着组合中喷浆玉米皮比例的增加，发酵液的 pH 显著降低（P<0.05）；在体外发酵 12、24 和 48 h 时，添加 50%和 75%喷浆玉米皮组（Ⅲ、Ⅳ组）发酵液中 NH_3-N 浓度显著大于单一皇竹草组（Ⅰ组）（P<0.05）。2）在体外发酵 12、48 h 时，随着组合中喷浆玉米皮比例的增加，山羊体外瘤胃 DM 降解率显著升高（P<0.05）；在体外发酵 8、12、24、48 h 时，添加 50%和 75%喷浆玉米皮组山羊体外瘤胃 NDF 和 CP 降解率显著高于单一皇竹草组（P<0.05）。3）75%皇竹草与 25%喷浆玉米皮组合、50%皇竹草与 50%喷浆玉米皮组合在整个发酵期均对山羊体外瘤胃 DM 降解率产生正组合效应，在

收稿日期：2017-06-14

基金项目：雷州山羊杂交改良技术创新（201201149）；雷州山羊提纯复壮及杂交改良技术研究（2013A03009）；舍饲条件下雷州山羊全混合日粮（TMR）的研制（2013A01042）；2016 年省级现代农业科技创新联盟建设项目（2016LM3191）；清远市清城区产学研合作专项资金项目（2015B03）.

作者简介：吴征敏（1989-），男，安徽萧县人，硕士研究生，研究方向为动物营养。E-mail：wuzm1314@126.com

*同等贡献作者

**通信作者：尹福泉，副教授，硕士生导师，E-mail： yinfuquan01@163.com

体外发酵24 h时50%皇竹草与50%喷浆玉米皮组合产生最大组和效应值；75%皇竹草与25%喷浆玉米皮组合在整个发酵期内均对山羊体外瘤胃NDF降解率产生正组合效应，在体外发酵12 h时产生最大组合效应值；50%皇竹草与50%喷浆玉米皮组合在整个发酵期内对山羊体外瘤胃CP降解率均产生正组合效应，在体外发酵8 h时产生最大组合效应值。综上所述，皇竹草与喷浆玉米皮的适宜组合比例为（75：25）～（50：50）。

关键词：皇竹草；喷浆玉米皮；瘤胃降解率；组合效应；体外产气法

中图分类号：S816　　　　　　　文献标识码：A　　　　　　　文章编号：

皇竹草（*Pennisetum sinese* Roxb，PSR），又称王草、皇竹，为多年生禾本科植物，因质优、高产、营养丰富等优点，被称为饲草之王[1]，在我国南方热带亚热带地区广泛种植；喷浆玉米皮（spouting corn bran，SCB），又称玉米麸或玉米蛋白饲料，是在玉米淀粉生产过程中将蛋白质含量及能量高的玉米浆喷洒到玉米皮上，经滚筒干燥而形成的玉米加工副产物，所含蛋白质、氨基酸及能量均较玉米皮高，具有色泽好、能量高、消化率高等特点[2]。李姗姗等[3]研究表明，在华农肉鸭中添加5%~10%的喷浆玉米皮，对15日龄以后的华农肉鸭生产性能及肠道发育无不良影响；舒维成等[4]研究表明，在樱桃谷鸭饲粮中添加5%的喷浆玉米皮，对樱桃谷鸭的生产性能及肠道发育无显著影响；孟梅娟等[5]研究表明，喷浆玉米皮与小麦秸秆以25：75组合，能产生最大正组合效应，提高营养物质降解率；涂远璐等[6]研究表明，在小麦秸与喷浆玉米皮组合中，随喷浆玉米皮比例的增加，丙酸浓度增加，提高了饲料的转化效率，更适合家禽育肥等，可利用不同饲料之间产生的正组合效应，提高饲料转换率，以达到均衡营养的目的。通过前人研究可以看出，喷浆玉米皮作为非常规饲料原料在动物生产中应用具有可行性，但关于喷浆玉米皮在南方地区的应用效果，尤其是与南方牧草的组合效果鲜有报道。本试验在前人研究的基础上，选择皇竹草和喷浆玉米皮按不同比例组合作为发酵底料，采用体外产气法研究该组合对山羊瘤胃降解率的影响，筛选出较为合理的组合比例，从而为南方粗饲料资源的科学应用提供理论依据和数据支持。

1　材料与方法

1.1　试验材料和试验动物

皇竹草：皇竹草于 2016 年 10 月份，在株高 150～200 cm 时进行收割，留茬 20 cm，用揉草机揉搓粉碎，于 60 ℃烘箱烘干后，用微型粉碎机粉碎后备用。

喷浆玉米皮：由湛江市某饲料公司提供。

试验动物：以山羊作为瘤胃液供体羊。

1.2　试验设计

试验采用体外产气法，以不同比例组合的皇竹草与喷浆玉米皮作为发酵底料，皇竹草和喷浆玉米皮按干物质（DM）比例为 100:0、75：25、50：50、25：75 和 0：100 分为I、II、III、IV、V组，每个时间点设置 3 个重复和 2 个空白对照。分别培养 4、8、12、24 和 48 h，测定各时间点发酵液及发酵滤渣的各项指标。试验原料的营养水平如表 1。

表 1　试验原料的营养水平（干物质基础）

Table 1　Nutrient levels of testing raw materials　（DM basis）　　%

皇竹草：喷浆玉米皮 PSR：SCB	干物质 DM	粗灰分 Ash	粗蛋白质 CP	酸性洗涤纤维 ADF	中性洗涤纤维 NDF
100：0	95.63	10.15	4.85	47.74	68.69
75：25	95.67	7.99	8.44	40.82	67.03
50：50	95.87	6.17	14.47	31.84	59.91
25：75	95.57	3.71	16.32	24.95	55.14
0：100	95.89	1.65	19.43	18.30	54.01

1.3 发酵液制备

1.3.1 人工唾液原液的配制

A 液（微量元素溶液）：$CaCl_2 \cdot 2H_2O$ 13.2 g、$CoCl_3 \cdot 6H_2O$ 1.0 g、$MnCl_2 \cdot 4H_2O$ 10.0 g、$FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 8.0 g，加蒸馏水至 100 mL。

B 液（缓冲液）：NH_4HCO_3 4.0 g、$NaHCO_3$ 35.0 g，加蒸馏水至 1 000 mL。

C 液（常量元素溶液）：$NaH_2PO_4 \cdot 12H_2O$ 9.45 g、$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.6 g、KH_2PO_4 6.2 g，加蒸馏水至 1 000 mL。

D 液（0.1%刃天青溶液）：100 mg 刃天青溶解于 100 mL 蒸馏水。

E 液（还原剂溶液）：蒸馏水 95 mL、$Na_2S \cdot 9H_2O$ 625 mg、1 mol/L NaOH 4.0 mL。

1.3.2 人工唾液制备

将配制好的原液以配制 1000 mL 人工唾液加蒸馏水 520.3 mL、B 液 208.1 mL、C 液 208.1 mL、A 液 0.1 mL、D 液 1 mL、E 液 62.4 mL 的比例混合均匀，放入（39.0±0.5） ℃恒温水浴锅内，不间断的通入 CO_2 使其由蓝色变为粉红色，最终为无色，制成人工唾液。

1.3.3 瘤胃液采集

晨饲前，取山羊瘤胃液置于保温壶内带到实验室，倒入烧杯内放入（39.0±0.5） ℃的水浴锅内，依次用 2、4 和 6 层纱布过滤，滤液不间断的通入 CO_2 气体。将瘤胃液与人工唾液按 1：9 的体积比混合，加入到体积为 200 mL 装有 1.25 g 发酵底物的产气瓶内，放入（39.0±0.5） ℃的恒温振动培养箱内分别培养 4、8、12、24 和 48 h。

1.4 样品采集与处理

将各时间点产气瓶取出后，迅速放入冰水终止微生物活动，立即用 S220-K 型酸度计测得发酵液 pH。经尼龙布过滤，滤液置于-20 ℃冰箱保存，用于氨态氮（NH_3-N）浓度的测定；滤渣放入 65 ℃烘箱内烘干，称重后置于-20 ℃冰箱保存，待测。

1.5 测定指标与方法

试验原料和滤渣的 DM、粗灰分（Ash）、粗蛋白质（CP）含量按照 AOAC(1995)[7]常规方法测定，酸性洗涤纤维（ADF）和中性洗涤纤维（NDF）含量采用范氏（Van Soest）洗涤纤维法测定。采用朱文涛等[8]的方法测定发酵液中 NH_3-N 浓度。

1.6 指标计算

1.6.1 养分降解率的计算

某养分降解率（%）=[(试验原料中某养分含量—残渣中某养分含量)/试验原料中某养分含量]×100。

1.6.2 组合效应值的计算

组合效应值（%）=[(实测值—加权估计值)/加权估计值]×100。

式中：实测值为实际测定样品某养分的降解率；加权估计值：A 样品实测值×A 样品配比+B 样品实测值×B 样品配比。

1.7 数据处理

试验数据用 Excel 2013 初步整理，采用 SPSS 20.0 软件中的 ANOVA 模型进行单因素方差分析，用 LSD 法进行多重比较；结果用“平均值±标准差”表示，P<0.05 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 皇竹草与喷浆玉米皮组合对发酵液 pH 和 NH_3-N 浓度的影响

由表 2 可知，在体外发酵 4 h 时，随着组合中喷浆玉米皮比例的增加，II、III、IV和V组发酵液的 pH 显著低于发酵底物为单一皇竹草的I组（P<0.05）；在体外发酵 8、12、24 和 48 h 时，随着组合中喷浆玉米皮比例的增加，发酵液的 pH 显著降低（P<0.05）。在整个发酵期，随着发酵时间的延长，各组发酵液的 pH 均显著降低（P<0.05）。

表 2　皇竹草与喷浆玉米皮组合对发酵液 pH 的影响

Table 2　Effects of PSR and SCB combination on pH of fermentation liquid

组别 Groups	发酵时间 Fermentation time/h				
	4	8	12	24	48
I	7.11 ± 0.01^{dE}	7.07 ± 0.01^{eD}	6.98 ± 0.01^{eC}	6.85 ± 0.01^{eB}	6.70 ± 0.01^{eA}
II	7.04 ± 0.01^{cE}	6.88 ± 0.01^{dD}	6.79 ± 0.04^{dC}	6.63 ± 0.02^{dB}	6.51 ± 0.01^{dA}
III	7.03 ± 0.00^{cE}	6.76 ± 0.01^{cD}	6.65 ± 0.01^{cC}	6.55 ± 0.06^{cB}	6.35 ± 0.05^{cA}
IV	6.95 ± 0.01^{bE}	6.65 ± 0.01^{bD}	6.51 ± 0.01^{bC}	6.43 ± 0.01^{bB}	6.21 ± 0.07^{bA}
V	6.93 ± 0.01^{aE}	6.54 ± 0.01^{aD}	6.35 ± 0.03^{aC}	6.21 ± 0.01^{aB}	6.05 ± 0.01^{aA}

同列数据肩标无字母或相同小写字母表示差异不显著（$P>0.05$），不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$）；同行数据肩标无字母或相同大写字母表示差异不显著（$P>0.05$），不同大写字母表示差异显著（$P<0.05$）。下表同。

In the same column, values with no letter or the same small letter superscripts mean no significant difference（$P>0.05$）, while with different small letter superscripts mean significant difference（$P<0.05$）; in the same row, values with no letter or the same capital letter superscripts mean no significant difference （$P>0.05$）, while with different capital letter superscripts mean significant difference （$P<0.05$）. The same as below.

由表 3 可知，在体外发酵 4 h 时，随着组合中喷浆玉米皮比例的增加，各组发酵液中 NH_3-N 浓度差异不显著（$P>0.05$）；在体外发酵 8 h 时，II、IV和V组发酵液中 NH_3-N 浓度显著低于I组（$P<0.05$），III组与I组差异不显著（$P>0.05$）；在体外发酵 12 h 时，III、IV和V组发酵液中 NH_3-N 浓度显著高于I组（$P<0.05$）；在体外发酵 24 h 时，随着组合喷浆玉米皮比例的增加，发酵液中 NH_3-N 浓度逐渐增大，III、IV和V组显著高于I和II组（$P<0.05$），IV和V组显著高于III组（$P<0.05$）；在体外发酵 48 h 时，I、II、III和IV组发酵液中 NH_3-N 浓度随喷浆玉米皮比例的增加而显著增加（$P<0.05$），V组较IV组略有增加（$P>0.05$）。在整个发酵期间，II、III和IV组发酵液中 NH_3-N 浓度随着发酵时间的延长呈先降低后升高趋势。

表 3　皇竹草与喷浆玉米皮组合对发酵液中 NH_3-N 浓度的影响

Table 3　Effects of PSR and SCB combination on NH_3-N concentration of fermentation liquid

mg/100mL

组别 Groups	发酵时间 Fermentation time/h				
	4	8	12	24	48
I	13.00 ± 1.74^{B}	11.77 ± 0.67^{cB}	8.49 ± 0.27^{aA}	6.87 ± 0.81^{aA}	7.64 ± 0.61^{aA}
II	12.15 ± 1.53^{B}	9.55 ± 0.41^{abAB}	9.51 ± 0.03^{abAB}	8.10 ± 1.74^{aA}	11.73 ± 1.49^{bB}
III	12.34 ± 0.88^{A}	10.72 ± 0.29^{bcA}	10.36 ± 1.39^{bA}	11.57 ± 1.74^{bA}	17.94 ± 1.86^{cB}
IV	13.02 ± 0.41^{B}	9.26 ± 1.16^{abA}	9.68 ± 0.29^{bA}	14.74 ± 0.27^{cC}	21.37 ± 0.58^{dD}
V	13.31 ± 0.58^{B}	8.49 ± 0.88^{aA}	9.66 ± 0.25^{bA}	15.82 ± 0.33^{cC}	22.28 ± 0.57^{dD}

2.2　皇竹草与喷浆玉米皮组合对山羊体外瘤胃 DM 降解率的影响

由表 4 可知，在体外发酵 4 h 时，随着组合中喷浆玉米皮比例的增加，各组合山羊体外瘤胃 DM 降解率无显著差异（$P>0.05$）；在体外发酵 8 h 时，随着组合中喷浆玉米皮比例的增加，山羊体外瘤胃 DM 降解率逐渐升高，除IV和V组间差异不显著（$P>0.05$）外，其他组间差异显著（$P<0.05$）；在体外发酵 12 和 48 h 时，山羊体外瘤胃 DM 降解率随着组合中喷浆玉米皮比例的增加而显著升高（$P<0.05$）；在体外发酵 24 h 时，随着组合中喷浆玉米皮比例的增加，山羊体外瘤胃 DM 降解率逐渐升高，除III和IV组间差异不显著（$P>0.05$）外，其他组间显著显著（$P<0.05$）。在整个发酵期间，II、III、IV、V组山羊体外瘤胃 DM 降解率随发酵时间的延长显著升高（$P<0.05$）。

表 4　皇竹草与喷浆玉米皮组合对山羊体外瘤胃 DM 降解率的影响

Table 4　Effects of PSR and SCB combination on *in vitro* rumen DMD of goats　　%

组别 Groups	发酵时间 Fermentation time/h				
	4	8	12	24	48
I	32.21±2.06^{A}	34.76±1.32^{aAB}	37.78±1.38^{aB}	49.94±4.39^{aC}	57.19±1.31^{aD}
II	32.68±1.50^{A}	40.90±1.41^{bB}	47.36±1.69^{bC}	58.68±1.77^{bD}	66.60±2.96^{bE}
III	34.07±0.12^{A}	45.97±1.00^{cB}	54.42±0.46^{cC}	68.02±0.54^{cD}	73.21±1.67^{cE}
IV	33.80±3.05^{A}	51.68±1.02^{dB}	63.27±0.78^{dC}	70.97±1.12^{cD}	79.08±1.33^{dE}
V	34.65±1.75^{A}	54.01±1.99^{dB}	70.18±0.99^{eC}	79.87±0.84^{dD}	84.94±0.59^{eE}

2.3　皇竹草与喷浆玉米皮组合对山羊体外瘤胃 DM 降解率的组合效应

由表 5 可知，皇竹草与喷浆玉米皮组合产生了组合效应。在体外发酵 4、8 和 24 h 时，随着组合中喷浆玉米皮比例由 25%增加到 50%，组合效应值呈增加趋势，但差异不显著（P>0.05）；在体外发酵 12 和 48 h 时，随着组合中喷浆玉米皮比例由 25%增加到 50%，组合效应值呈降低趋势，但差异不显著（P>0.05）。75%皇竹草与 25%喷浆玉米皮组合、50%皇竹草与 50%喷浆玉米皮组合，在整个发酵期均产生正组合效应；25%皇竹草与 75%喷浆玉米皮组合，在体外发酵 4 和 24 h 时产生负组合效应，在体外发酵 8、12 和 48 h 时产生负组合效应。在整个发酵期间，随发酵时间的延长，含 25%和 50%喷浆玉米皮的组合均产生正组合效应。

表 5　皇竹草与喷浆玉米皮组合对山羊体外瘤胃 DM 降解率的组合效应

Table 5　Combined effect of PSR and SCB combination on *in vitro* rumen DMD of goats　　%

组别 Groups	发酵时间 Fermentation time/h				
	4	8	12	24	48
I	—	—	—	—	—
II	1.45±4.55	3.36±3.56	3.23±3.68	2.19±3.08^{ab}	3.85±4.62

III	1.93 ± 0.37^{AB}	3.57 ± 2.25^{AB}	0.82 ± 0.85^{A}	4.79 ± 0.83^{bB}	3.02 ± 2.35^{AB}
IV	-0.71 ± 8.96	5.05 ± 2.07	1.91 ± 1.26	-1.96 ± 1.54^{a}	1.37 ± 1.70
V	—	—	—	—	—

2.4 皇竹草与喷浆玉米皮组合对山羊体外瘤胃 NDF 降解率的影响

由表 6 可知，在体外发酵 4 h 时，I、II、III组间山羊体外瘤胃 NDF 降解率差异不显著（P>0.05），但均显著高于IV和V组（P<0.05）；在体外发酵 8 h 时，II、III、IV和V组山羊体外瘤胃 NDF 降解率显著高于I组（P<0.05）；在体外发酵 12、48 h 时，随着组合中喷浆玉米皮比例的增加，山羊体外瘤胃 NDF 降解率呈升高趋势，除III与IV组差异不显著（P>0.05）外，其他组间差异显著（P<0.05）；在体外发酵 24 h 时，随着组合中喷浆玉米皮比例的增加，山羊体外瘤胃 NDF 降解率呈升高趋势，除II与III组差异不显著（P>0.05）外，其他组间差异显著（P<0.05）。在整个发酵期间，随发酵时间的延长，II、III、IV和V组山羊体外瘤胃 NDF 降解率显著升高（P<0.05）。在体外发酵 4～12 h 时，I组山羊体外 NDF 降解率无显著变化（P>0.05）；在体外发酵 12～48 h 时，山羊体外 NDF 降解率显著升高（P<0.05）。

表 6　皇竹草与喷浆玉米皮组合对山羊体外瘤胃 NDF 降解率的影响

Table 6　Effects of PSR and SCB combination on *in vitro* rumen NDFD of goats　　%

组别 Groups	发酵时间 Fermentation time/h				
	4	8	12	24	48
I	14.68 ± 0.48^{bA}	17.03 ± 1.68^{aA}	13.36 ± 1.92^{aA}	28.30 ± 3.20^{aB}	44.40 ± 1.70^{aC}
II	16.12 ± 0.68^{bA}	25.90 ± 1.77^{bB}	33.48 ± 2.14^{bC}	48.13 ± 2.22^{bD}	56.18 ± 1.55^{bE}
III	13.57 ± 0.16^{bA}	25.67 ± 0.86^{bB}	37.15 ± 0.63^{cC}	51.14 ± 0.83^{bcD}	61.40 ± 2.41^{cE}
IV	8.17 ± 1.35^{aA}	27.43 ± 1.53^{bB}	39.78 ± 1.28^{cC}	55.09 ± 1.73^{cD}	64.77 ± 2.24^{cE}
V	6.84 ± 1.73^{aA}	28.81 ± 3.08^{bB}	56.10 ± 1.45^{dC}	70.56 ± 1.23^{dD}	74.98 ± 0.98^{dE}

2.5　皇竹草与喷浆玉米皮组合对山羊体外瘤胃 NDF 降解率的组合效应

由表 7 可知，皇竹草与喷浆玉米皮组合产生了组合效应。在体外发酵 4 h 时，随着组合中喷浆玉米皮比例的增加，组合效应值逐渐减小，II与III组显著高于IV组（*P*<0.05）；在体外发酵 8、12、24 和 48 h 时，随着组合中喷浆玉米皮比例的增加，组合效应值逐渐减小，Ⅱ组显著高于Ⅲ、Ⅳ组（*P*<0.05）。75%皇竹草与 25%喷浆玉米皮组合，在整个发酵期内均产生正组合效应；50%皇竹草与 50%喷浆玉米皮组合，在体外发酵 4、12、24 h 时均产生正组合效应，在体外发酵 48 h 时产生负组合效应；25%皇竹草与 75%喷浆玉米皮组合，在体外发酵 4、12、24 和 48 h 时均产生负组合效应，在体外发酵 8 h 时产生正组合效应。在整个发酵期间，随发酵时间的延长，II组的组合效应值呈先增大后降低趋势，III组的组合效应值逐渐降低。

表 7　皇竹草与喷浆玉米皮组合对山羊体外瘤胃 NDF 降解率的组合效应

Table 7　Combined effect of PSR and SCB combination on *in vitro* rumen NDFD of goats　　%

组别 Groups	发酵时间 Fermentation time/h				
	4	8	12	24	48
I	—	—	—	—	—
II	26.71±5.36^{bBC}	29.65±8.85^{bBC}	39.24±8.88^{cC}	23.85±5.72^{cB}	7.56±2.21^{bA}
III	26.08±1.51^{bD}	11.98±3.73^{aC}	6.98±1.82^{bBC}	3.46±1.67^{bAB}	-0.80±3.71^{aA}
IV	-7.15±15.31^{aA}	9.46±0.18^{aB}	-12.39±2.82^{aA}	-8.17±2.88^{aA}	-3.60±4.67^{aAB}
V	—	—	—	—	—

2.6　皇竹草与喷浆玉米皮组合对山羊体外瘤胃 CP 降解率的影响

由表 8 可知，在体外发酵 4 h 时，随着组合中喷浆玉米皮比例的增加，山羊体外瘤胃 CP 降解率呈先增高后降低趋势，以III组最高，显著高于其他各组（*P*<0.05）；在体外发酵

8 h时，添加喷浆玉米皮组（Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ和Ⅴ组）山羊体外瘤胃CP降解率均显著高于单一皇竹草组（Ⅰ组）；在体外发酵12 h时，山羊体外瘤胃CP降解率除Ⅲ与Ⅳ组间差异不显著（*P*>0.05）外，其他组间差异显著（*P*<0.05）；在体外发酵24 h时，山羊体外瘤胃CP降解率II、III和IV组间差异不显著（*P*>0.05），但上述3组均高于显著Ⅰ组（*P*<0.05），且V组显著高于除III组外的其他各组（*P*>0.05）；在体外发酵48 h时，山羊体外瘤胃CP降解率组间差异显著（*P*<0.05），其中III组显著高于I、II和IV组（*P*<0.05），V组显著高于其他各组（*P*<0.05）。在整个发酵期间，Ⅰ、II组山羊体外瘤胃CP降解率随发酵时间的延长呈先升高后降低的趋势均在体外发酵24 h时有最大值；III、IV和V组山羊体外瘤胃CP降解率则随发酵时间的延长显著增加（*P*<0.05）。

表8　皇竹草与喷浆玉米皮组合对山羊体外瘤胃CP降解率的影响

Table 8　Effects of PSR and SCB combination on *in vitro* rumen CPD of goats　　%

组别 Groups	发酵时间 Fermentation time/h				
	4	8	12	24	48
I	45.80±1.65^{bA}	48.18±1.05^{aA}	56.73±0.96^{aC}	58.86±3.61^{aC}	52.40±1.46^{aB}
II	47.48±1.17^{bA}	56.56±1.04^{cB}	58.44±1.33^{bB}	73.58±1.13^{bC}	73.42±2.36^{bC}
III	52.53±0.09^{cA}	62.17±0.70^{dB}	65.71±0.35^{cC}	77.01±2.45^{bcD}	81.37±1.16^{dE}
IV	47.62±0.77^{bA}	55.39±0.94^{cB}	65.21±0.74^{cC}	73.59±1.02^{bD}	77.52±1.43^{cE}
V	41.99±1.55^{aA}	50.54±2.14^{bB}	69.50±1.01^{dC}	78.26±0.91^{cD}	85.85±0.55^{eE}

2.7　皇竹草与喷浆玉米皮组合对山羊体外瘤胃CP降解率的组合效应

由表9可知，皇竹草与喷浆玉米皮组合产生了组合效应。在体外发酵4、12 h时，随着组合中喷浆玉米皮比例的增加，组合效应值先增大后减小，III组显著高于II和IV组（*P*<0.05）；在体外发酵24、48 h时，随着组合中喷浆玉米皮比例的增加，组合效应值呈下降趋势，II

和III组间差异不显著（$P>0.05$），II和III组显著高于IV组（$P<0.05$）；在体外发酵 8 h 时，随着组合中喷浆玉米皮比例的增加，组合效应值先增大后减小，组间差异显著（$P<0.05$）。75%皇竹草与 25%喷浆玉米皮组合、25%皇竹草与 75%喷浆玉米皮组合，在体外发酵 12 h 时产生负组合效应，在体外发酵 4、8、24、48 h 时产生正组合效应；50%皇竹草与 50%喷浆玉米皮组合，在整个发酵期内均产生正组合效应。在整个发酵期间，随发酵时间的延长，II 和III组的组合效应值呈升高、降低和再升高趋势。

表 9　皇竹草与喷浆玉米皮组合对山羊体外瘤胃 CP 降解率的组合效应

Table 9　Combined effect of PSR and SCB combination on *in vitro* rumen CPD of goats　　%

组别 Groups	发酵时间 Fermentation time/h				
	4	8	12	24	48
I	—	—	—	—	—
II	5.87±2.61^{aB}	15.98±2.12^{bC}	-2.47±2.23^{aA}	14.33±1.35^{bC}	20.82±3.88^{bD}
III	19.68±0.20^{bC}	25.96±1.42^{cD}	4.12±0.55^{bA}	12.45±3.58^{bB}	17.71±1.68^{bC}
IV	10.90±1.79^{aB}	10.90±1.88^{aB}	-1.65±1.12^{aA}	0.25±1.38^{aA}	0.04±1.84^{aA}
V	—	—	—	—	—

3　讨　论

3.1　皇竹草与喷浆玉米皮组合对发酵液 pH 和 NH_3-N 浓度的影响

pH 是最直观和最基本的反映瘤胃发酵是否正常的生理指标，综合反映瘤胃微生物代谢产物有机酸产生、吸收、排出及中和的情况，变动范围一般在 5.0~7.5，瘤胃微生物的适宜 pH 范围在 6.2~7.00，当 pH 低于 6.2 时，瘤胃内纤维素分解菌的活性会受到抑制[9]。本试验中皇竹草与喷浆玉米皮以 75：25、50：50、25：75 比例组合，在体外发酵 4～48 h 时各组发酵液 pH 均介于 6.21~7.04，说明不同比例的皇竹草与喷浆玉米皮组合在瘤胃内均可正常发

酵。

NH_3-N 是饲料蛋白质、内源性蛋白质及非蛋白氮的降解产物，也是菌体蛋白的合成原料，其浓度可在一定程度上反映瘤胃微生物产生 NH_3-N 及其利用情况，NH_3-N 浓度过高或过低都不利于瘤胃微生物的增殖[10]。本试验中，在体外发酵 4～48 h 时各组发酵液 NH_3-N 浓度介于 6.87~22.28 mg/dL，均在 Illius[11]研究报道的瘤胃 NH_3-N 正常浓度范围 6~30 mg/dL 之内，说明皇竹草与喷浆玉米皮组合发酵后有利于瘤胃微生物的增殖，增加了菌体蛋白的合成量，提高了蛋白质的利用率。本试验中，在体外发酵 4～24 h 内，各组发酵液 NH_3-N 浓度随发酵时间的延长逐渐降低，可能是因为喷浆玉米皮属于较易降解物质，随着较易降解物质比例的增加，使得瘤胃微生物可利用营养物质增加，有利于瘤胃微生物的生长、促进了瘤胃微生物增殖，有较多的氮被微生物利用合成菌体蛋白造成的[12]；后期 NH_3-N 浓度有上升趋势，可能是随着发酵时间的延长，发酵瓶内发酵产物逐渐积累无法转移出去，致使氨在发酵瓶内积累造成的[13]。

3.2 皇竹草与喷浆玉米皮组合对山羊体外瘤胃 DM 降解率的影响

本试验通过研究不同比例皇竹草与喷浆玉米皮组合对山羊体外瘤胃 DM 降解率的影响后发现，随皇竹草与喷浆玉米皮组合比例的变化，山羊体外瘤胃 DM 降解率也在发生改变，说明不同粗饲料组合产生了组合效应，这与高立鹏等[14]和孟梅娟等[15]研究结果一致。本试验中，随着组合中喷浆玉米皮比例的增加，山羊体外瘤胃 DM 降解率逐渐增加，当喷浆玉米皮添加比例达到 50%时，山羊体外瘤胃 DM 降解率增加幅度有所降低，这与张颖等[16]研究稻草与苜蓿组合，当苜蓿添加比例达到 30%时，瘤胃 DM 降解率增加幅度减小，瘤胃基本处于降解极限状态的结果一致。总体来看，各皇竹草与喷浆玉米皮组合组后山羊体外瘤胃 DM 降解率均显著高于单一皇竹草组，说明皇竹草与喷浆玉米皮之间存在组合效应，这可能是因为粗饲料来源及牧草自身所含 DM、CP 和 CF 等不同，粗饲料适口性不同，在瘤胃内降解特性不同造成的[17]。本试验中，随着发酵时间的延长，各组山羊体外瘤胃 DM 降解率

显著升高，可能是由于发酵时间延长，瘤胃微生物分解菌活性增强，营养物质降解程度加大所致。组合中添加 25%和 50%喷浆玉米皮组均产生不同程度的正组合效应，说明添加一定比例的喷浆玉米皮有利于瘤胃微生物的增殖，增加瘤胃营养物质的消化吸收。

DM 降解率是反映粗饲料瘤胃发酵特性的重要指标之一[18]，粗饲料进入瘤胃后，经瘤胃微生物作用，产生挥发性脂肪酸、NH_3-N 等，在微生物作用下以 NH_3-N、酮酸为原料合成菌体蛋白，可为反刍动物提供所需蛋白质的 40%～80%。粗饲料组合的优劣不仅与饲料中营养成分的含量和质量有关，还与饲料中营养成分的结构有关[19]。巴桑珠扎等[20]研究表明，不同作物秸秆其 DM 降解率不同，可能与不同作物秸秆中可消化有机物及非结构性碳水化合物含量有关。本试验中，随着组合中喷浆玉米皮比例的增加，山羊体外瘤胃 DM 降解率升高，可能是由于喷浆玉米皮中的可消化有机物及非结构性碳水化合物含量较高造成的。

3.3 皇竹草与喷浆玉米皮组合对山羊体外瘤胃纤维降解率的影响

粗纤维是反刍动物必需的营养素之一，它可以为反刍动物提供挥发性脂肪酸、糖原异生的前提物质，为动物提供大量能源、维持动物正常的生产功能及瘤胃的正常功能和动物的健康[21]。NDF 能够通过刺激反刍动物的咀嚼和反刍，促进动物唾液分泌，提高瘤胃的缓冲能力，对保护反刍动物胃肠道健康和维持瘤胃正常发酵具有重要意义[22]。本试验中，在体外发酵 8～48 h 内，添加喷浆玉米皮的组山羊体外瘤胃 NDF 降解率均高于单一皇竹草组，这与夏科等[23]和 Ponce 等[24]的研究结果一致。添加喷浆玉米皮组山羊体外瘤胃 NDF 降解率可能是因为喷浆玉米皮中蛋白质含量较高，为瘤胃微生物生长提供了所需要的氨氮、肽与氨基酸及支链脂肪酸等[5]。研究表明，向低蛋白质饲粮中添加支链脂肪酸有利于增加瘤胃微生物总数与菌体蛋白总量[25-27]，进而促进纤维物质的降解[28]。本试验中，在皇竹草中添加不同比例的喷浆玉米皮能够产生不同程度的组合效应，说明添加喷浆玉米皮有利于瘤胃微生物的生长繁殖，提高了营养物质的降解率。本试验中，75%皇竹草与 25%喷浆玉米皮组合在整个发酵期内均产生正组合效应，且在体外发酵 12 h 时组合效应值达到最大；50%皇竹草与 50%

喷浆玉米皮组合在体外发酵 48 h 时产生负组合效应；25%皇竹草与 75%喷浆玉米皮组合在整个发酵期内均产生不同程度的负组合效应等，这可能是由于在皇竹草中添加适宜比例的非常规饲料可以提高皇竹草中纤维的降解率，产生正组合效应，若添加比例不适宜则会产生负组合效应[15]。

3.4　皇竹草与喷浆玉米皮组合对山羊体外瘤胃 CP 降解率的影响

反刍动物摄入的饲粮蛋白质，一部分在瘤胃微生物的作用下被降解，降解的蛋白质被用于合成瘤胃菌体蛋白，合成的瘤胃菌体蛋白和饲粮中非降解蛋白质进入小肠被消化、吸收和利用[29]。张永根等[30]对奶牛常用饲料中 CP 的瘤胃降解特性进行了研究，发现饲粮中 CP 降解率与饲粮中 NDF 和 ADF 含量呈显著负相关关系；本试验中发酵底物中 NDF 和 ADF 含量随喷浆玉米皮比例的增加逐渐减少，伴随着体外瘤胃 CP 降解率逐渐增加，与上述研究结果相符。不同饲料相互组合，由于某种相互作用使得组合后某种营养成分的降解率高于各单一饲料的加权值时，说明这种组合产生了正组合效应[31]。本试验中，皇竹草与不同比例喷浆玉米皮组合，山羊体外瘤胃 CP 降解率升高，出现了不同程度的正组合效应，可能是 2 种粗饲料组合后较单一粗饲料营养成分比例合理均衡，组合效应弥补了单一粗饲料碳氮不平衡的缺陷，提高了粗饲料中养分在瘤胃中的降解率[32]。因此，不同饲料组合研究对动物健康及饲料资源的开发利用具有重要意义。

4　结　论

① 在以皇竹草为主要粗饲料的饲粮中，添加喷浆玉米皮有利于改善饲粮营养水平，提高皇竹草的利用率。

② 从山羊体外瘤胃养分降解率的组合效应考虑，皇竹草与喷浆玉米皮的适宜组合比例为（75：25）～（50：50）。

参考文献：

[1]　杨毅.优质牧草——皇竹草的栽培与利用技术[J].科学种养,2016(11):51–52.

[2] 典姣姣,黄亮,董贞,等.喷浆玉米皮混菌固态发酵饲料的研究[J].饲料研究,2016(8):51–54.

[3] 李姗姗,曾秋凤,丁雪梅,等.喷浆玉米皮对华农肉鸭生产性能及肠道发育的影响[C]//中国畜牧兽医学会动物营养学分会.中国畜牧兽医学会动物营养学分会第十二次动物营养学术研讨会论文集.北京:中国畜牧兽医学会动物营养学分会,2016.

[4] 舒维成,曾秋凤,丁雪梅,等.喷浆玉米皮对樱桃谷肉鸭生产性能及肠道发育的影响[C]//中国畜牧兽医学会动物营养学分会.中国畜牧兽医学会动物营养学分会第十二次动物营养学术研讨会论文集.北京:中国畜牧兽医学会动物营养学分会,2016.

[5] 孟梅娟,涂远璐,白云峰,等.小麦秸与非常规饲料组合效应的研究[J].动物营养学报,2016,28(9):3005–3014.

[6] 涂远璐,孟梅娟,白云峰,等.南方农区小麦秸秆与非常规饲料的组合利用[J].江苏农业学报,2017,33(1):166–173.

[7] CUNNIFF P A,JEE M H.Official methods of analysis of AOAC International (16th ed)[J].Trends in Food Science and Technology,1995,6(11):382.

[8] 朱文涛,雒秋江,古丽尼沙,等.4 种日粮条件下 30~150 日龄羔羊瘤胃消化代谢功能的变化[J].畜牧兽医学报,2005,36(11):38–42.

[9] RUSSELL J B.The importance of pH in the regulation of ruminal acetate to propionate ratio and methane production *in vitro*[J].Journal of Dairy Science,1998,81(12):3222–3230.

[10] 李玉帅,吴森,曹阳春,等.日粮尿素添加水平对秦川肉牛瘤胃发酵性能的影响[J].家畜生态学报,2017,38(4):38–43.

[11] ILLIUS A W.Matching ruminant production systems with available resources in the tropics and sub-tropics:T. R. Preston & R. A. Leng.Renambul Books,Armidale,NSW,1987.ISBN 0–9588290–12[J].Agricultural Systems,1989,30(2):200–201.

[12] FRANKLIN S T,NEWMAN M C,NEWMAN K E,et al.Immune parameters of dry cows

fed Mannan oligosaccharide and subsequent transfer of immunity to calves[J].Journal of Dairy Science,2005,88(2):766–775.

[13] 陈志龙,曾燕霞,王林,等.不同精粗比饲粮中添加甘露寡糖对绵羊体外瘤胃发酵的影响[J].动物营养学报,2016,28(10):3292–3300.

[14] 高立鹏,孟梅娟,白云峰,等.不同粗饲料组合对山羊饲粮养分表观消化率及氮平衡的影响[J].动物营养学报,2016,28(8):2396–2403.

[15] 孟梅娟,涂远璐,白云峰,等.小麦秸秆与米糠粕瘤胃体外发酵组合效应研究[J].草业学报,2016,25(9):161–172.

[16] 张颖,霍晓伟.不同粗饲料组合日粮对不同牧草在肉牛瘤胃内降解特性的影响[J].河南农业科学,2015,44(2):135–138,155.

[17] 张倩,夏建民,李胜利,等.不同比例压块秸秆与羊草组成粗饲料对奶牛瘤胃发酵和生产性能的影响[J].动物营养学报,2010,22(2):474–480.

[18] 王祚,周传社,汤少勋,等.两种酵母对奶牛瘤胃体外发酵特性的影响[J].农业现代化研究,2014,35(2):218–224.

[19] ZHANG S,CHAUDHRY A S,RAMDANI D,et al.Chemical composition and *in vitro* fermentation characteristics of high sugar forage sorghum as an alternative to forage maize for silage making in Tarim Basin,China[J].Journal of Integrative Agriculture,2016,15(1):175–182.

[20] 巴桑珠扎,陈亮,奥斯曼,等.西藏地区不同作物秸秆体外发酵特性研究[J].动物营养学报,2017,29(2):719–728.

[21] 周安国,陈代文.动物营养学[M].北京:中国农业出版社,1993.

[22] 张立涛,刁其玉,李艳玲,等.中性洗涤纤维生理营养与需要量的研究进展[J].中国草食动物科学,2013,33(1):57–61.

[23] 夏科,王志博,郗伟斌,等.粗饲料组合对奶牛饲粮养分消化率、能量和氮的利用的影响[J].

动物营养学报,2012,24(4):681–688.

[24] PONCE C H,SCHUTZ J S,SMITH D R,et al.Effects of wet distillers grains with solubles in diets based on steam-flaked corn containing moderate or high roughage levels on nutrient digestibility in feedlot cattle and *in vitro* fermentation[J].The Professional Animal Scientist,2016,32(5):580–590.

[25] BENTLEY O G,JOHNSON R R,HERSHBERGER T V,et al.Cellulolytic-factor activity of certain short-chain fatty acids for rumen microorganisms *in vitro*[J].Journal of Nutrition,1955,57(3):389–400.

[26] WOOD C D,MANYUCHI B.Use of an *in vitro* gas production method to investigate interactions between veld hay and Napier hay or groundnut hay supplements[J].Animal Feed Science and Technology,1997,67(4):265–278.

[27] LENG R A,NOLAN J V.Nitrogen metabolism in the rumen[J].Journal of Dairy Science,1984,67(5):1072–1089.

[28] VAN GYLSWYK N O.The effect of supplementing a low–protein hay on the cellulolytic bacteria in the rumen of sheep and on the digestibility of cellulose and hemicellulose[J].The Journal of Agricultural Science,1970,74(1):169–180.

[29] 冯仰廉.反刍动物营养学[M].北京:科学出版社,2004.

[30] 张永根,李春雷,王艳菲,等.奶牛常用饲料干物质和蛋白质瘤胃降解特性及小肠消化率研究[J].东北农业大学学报,2013,44(9):1–6.

[31] LIU J P,JU M T,WU W T,et al.Lignocellulolytic enzyme production in solid-state fermentation of corn stalk with ammoniation pretreatment by *Lentinus edodes* L-8[J].BioResources,2014,9(1):1430–1444.

[32] 崔占鸿,郝力壮,刘书杰,等.体外产气法评价青海高原燕麦青干草与天然牧草组合效应

[J].草业学报,2012,21(3):250–257.

Combination Effect of *Pennisetum sinese* Roxb and Spouting Corn Bran

WU Zhengmin[1] WANG Zhijing[1,2] YU Hui[3] WU Haohao[1] SU Zhijie[1] LIN Minchun[1] ZENG Jin[1] YIN Fuquan[1*]

(1. *College of Agricultural,Guangdong Ocean University, Zhanjiang* 524088, *China*; 2. *Hengyang Debon Xinjin Bio-Tech Co.,Ltd., Hengyang* 421001, *China*; 3. *College of Life Science and Engineering, Foshan University, Foshan* 528231, *China*)

Abstract: This experiment investigated to effects of the combinations of *Pennisetum sinese* Roxb and spouting corn bran in different proportions on rumen degradation rate of goats by using *in vitro* gas production method so as to provide theoretical basis and data support for scientific application of roughage resources in South China. According to the ratio of dry matter (DM), *Pennisetum sinese* Roxb and spouting corn bran were mixed in the ratios of 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 and 0:100 and divided into groups Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ and Ⅴ, respectively, which were cultured for 4, 8, 12, 24 and 48 hours by using *in vitro* gas production method, respectively. Three replicates and two blank controls in each time point. At the end of the culture, we stopped fermentation and determined liquid pH, ammoniacal nitrogen （NH_3-N） concentration of fermentation liquid and the contents of DM, crude protein (CP) and neutral detergent fiber （NDF）in fermentation residue. The results showed as follows: 1） the combinations of *Pennisetum sinese* Roxb and spouting corn bran in different proportions influenced pH and NH_3-N concentration of fermentation liquid, but all variations were within normal range. The pH of fermentation liquid was significantly decreased as the increase of the proportion of spouting corn bran (P<0.05). In 50% and 75% spouting corn bran groups (groups Ⅲ and Ⅳ), the NH_3-N concentration of fermentation liquid was significantly higher than that in single *Pennisetum sinese*

Roxb group （group Ⅰ） at 12, 24 and 48 h for *in vitro* fermentation (*P*<0.05). 2) At 8 and 48 h for *in vitro* fermentation, the degradation rate of *in vitro* rumen DM was significantly increased with the increase of the proportion of spouting corn bran (*P*<0.05). In 50% and 75% spouting corn bran groups, the degradation rates of *in vitro* rumen NDF and CP were significantly higher than those in the single *Pennisetum sinese* Roxb group at 8, 12, 24 and 48 h for *in vitro* fermentation (*P*<0.05). 3) The combined effects on the degradation rate of *in vitro* rumen DM were positive in the combinations of 75% *Pennisetum sinese* Roxb+25% spouting corn bran and 50% *Pennisetum sinese* Roxb+50% spouting corn bran, and the maximum positive combination effect value was found in the combination of 50% *Pennisetum sinese* Roxb+50% spouting corn bran at 24 h for *in vitro* fermentation; the combined effects on the degradation rate of *in vitro* rumen NDF was positive in the combination of 75% *Pennisetum sinese* Roxb+25% spouting corn bran, and the maximum positive combination effect value was obtained at 12 h for *in vitro* fermentation; the combined effects on the degradation rate of *in vitro* rumen CP was positive in 50% *Pennisetum sinese* Roxb+50% spouting corn bran, and the maximum positive combination effect value was obtained at 8 h for *in vitro* fermentation. It is concluded that the optimal combination proportions of *Pennisetum sinese* Roxb and spouting corn bran are (75:25) to (50:50).

Key words: *Pennisetum sinese* Roxb; spouting corn bran; rumen degradation rate; combined effect; *in vitro* gas production method

---

*Contributed equally

**Corresponding author, associate professor, E-mail: yinfuquan01@163.com (责任编辑　菅景颖)